

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2002年11月26日

出願番号
Application Number:

特願2002-341668

[ST.10/C]:

[JP2002-341668]

出願人
Applicant(s):

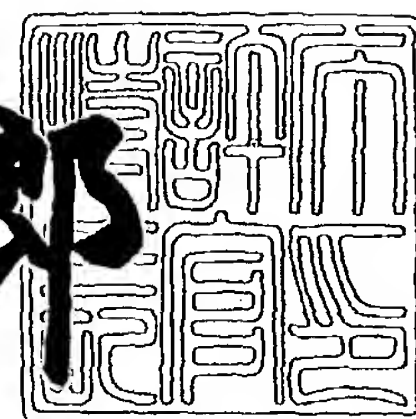
株式会社日立製作所
日本オプネクスト株式会社

U.S. Appln. Filed 6-27-03
Inventor: K. Nakahara et al
Manningly Stanger & Malur
Docket NIT-379

2003年 5月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3033542

【書類名】 特許願

【整理番号】 H02015321A

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01S 03/02

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

【氏名】 中原 宏治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

【氏名】 土屋 朋信

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

【氏名】 大家 彰

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

【氏名】 篠田 和典

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【特許出願人】

【識別番号】 301005371

【氏名又は名称】 日本オプネクスト株式会社

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

特 2 0 0 2 - 3 4 1 6 6 8

【氏名又は名称】 作田 康夫

【電話番号】 03-3212-1111

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光半導体装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

InP基板上にInGaAlAsからなる多重量子井戸活性層を含む複数の積層された層を有し、InAlAs電子ストッパ層上に、回折格子を有するInGaAsP層、InPクラッド層が順に積層され、当該回折格子を有するInGaAsP層の回折格子の凹部の深さがInGaAsP層の厚さより小さいことを特徴とする光半導体装置。

【請求項 2】

InP基板上にInGaAlAsからなる多重量子井戸活性層を含む複数の積層された層を有し、InAlAs電子ストッパ層上に、回折格子を有するInGaAsP層、InPスペーサ層、InGaAsPエッチストップ層、InPクラッド層が順に積層され、当該回折格子を有するInGaAsP層の回折格子の凹部の深さが回折格子を有するInGaAsP層の厚さより小さいことを特徴とする光半導体装置。

【請求項 3】

請求項 2 の光半導体装置においてスペーサ層がInAlAs層で構成されることを特徴とする光半導体装置

【請求項 4】

請求項 1 の光半導体装置において回折格子を有するInGaAsP層の組成波長が $1.15\mu\text{m}$ 以上 $1.24\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 5】

請求項 2 の光半導体装置において回折格子を有するInGaAsP層の組成波長が $1.15\mu\text{m}$ 以上 $1.24\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 6】

請求項 3 の光半導体装置において回折格子を有するInGaAsP層の組成波長が $1.15\mu\text{m}$ 以上 $1.24\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 7】

請求項 1 の光半導体装置において回折格子が有するInGaAsP層の一部が多重量子井戸層で構成されることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 8】

請求項 2 の光半導体装置において回折格子が有する InGaAsP 層の一部が多重量子井戸層で構成されることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 9】

請求項 3 の光半導体装置において回折格子が有する InGaAsP 層の一部が多重量子井戸層で構成されることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 1 0】

請求項 1 の光半導体装置において InP クラッド層と回折格子を有する InGaAsP 層との間に Si または O の不純物が存在することを特徴とする光半導体装置

【請求項 1 1】

請求項 2 の光半導体装置において InP スペーサ層と回折格子を有する InGaAsP 層との間に Si または O の不純物が存在することを特徴とする光半導体装置

【請求項 1 2】

請求項 1 の光半導体装置において InP クラッド層がリッジメサストライプ形状を有するリッジ型レーザであることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 1 3】

請求項 2 の光半導体装置において InP クラッド層がリッジメサストライプ形状を有するリッジ型レーザであることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 の光半導体装置においてレーザ構造が埋込型であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 の光半導体装置においてレーザ構造と電界吸収型変調器を集積化した集積化光源であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 1 6】

請求項 2 の光半導体装置においてレーザ構造と電界吸収型変調器を集積化した集積化光源であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 3 の光半導体装置においてレーザ構造と電界吸収型変調器を集積化し

た集積化光源であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 1 8】

請求項 1 4 の光半導体装置においてレーザ構造と電界吸収型変調器を集積化した集積化光源であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 1 9】

請求項 1 の光半導体装置においてレーザ構造とマッハツェンダー型変調器を集積化した集積化光源であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 2 0】

請求項 2 の光半導体装置においてレーザ構造とマッハツェンダー型変調器を集積化した集積化光源であることを特徴とする光半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体を用いたレーザ装置、特に光ファイバーの送信光源として用いられる通信用半導体レーザに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

世界規模でのインターネットの普及により光通信網のデータトラフィック量が増加している。増加量の大部分はデータ通信であり、それに伴い高速ルータ装置間を10Gb/s以上の高速で接続する数10kmの比較的短距離に用いる送信光源の需要が拡大している。この送信光源には小型かつ低消費電力で低コストであることが求められている。10Gb/sで動作する送信光源は電界吸収型変調器が集積化された半導体レーザが既に実用化されている。しかし、半導体レーザと電界吸収型変調器を集積しているため製造コストが高くなる。さらに、半導体のバンドギャップの温度依存性から原理的に限られた温度範囲のみで動作するためペルチェ素子等の電子冷却素子が必要となる。ペルチェ素子は高価で多くの電流を流すためコスト及び消費電力の観点から上記の送信光源の要求を満たさない。よって上記用途の光源には従来から用いられているように直接に半導体レーザの駆動電流を増減することにより光出力を変調させる直接変調レーザを電子冷却素子無しに動作さ

せるのが望ましい。しかし、半導体レーザは原理的に高温ほどレーザ特性が劣化する。特に光ファイバー通信に用いられる1.3から1.55 μm 帯のInGaAsPの多重量子井戸層(MQW:Multi Quantum Well)を活性層とする半導体レーザは高温でのレーザ特性は良好ではなく、緩和振動周波数 f_r が低く高速動作に不向きであった。尚、10Gb/sの変調速度(ビットレート)のときは直接変調レーザでは緩和振動周波数は少なくとも13GHz以上であることが望ましいと言われている。

【 0 0 0 3 】

これに対してChung-En Zahらにより"IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 30, No. 2, pp. 511-522, 1994"に開示されているようにInGaAlAsのMQWを活性層とする半導体レーザは高温においてもレーザの特性が良好であることが知られており、さらにT. Ishikawaらにより"International Conference on Indium Phosphide and Related Materials 1998, ThP-55, pp. 729-732"に開示されているようにInGaAlAs-MQW層の緩和振動周波数はInGaAsP-MQWの半導体レーザに比べて高く上記の直接変調レーザの用途に向いている。

【 0 0 0 4 】

InGaAlAs-MQWのレーザ特性がInGaAsP-MQWに比べて良いのはバンドラインナップに起因する。すなわち、図1 1に示すようにMQW層内の量子井戸層と障壁層の伝導帯の不連続と価電子帯側に不連続の割合が、InGaAsP-MQWが4:6なのに対してInGaAlAs-MQWでは7:3であり、有効質量が小さい電子を量子井戸層内に閉じ込められやすく、有効質量が大きい正孔は量子井戸層内に均一に分布しやすい。図1 1において1101はInGaAlAs-MQWの井戸層で1102はInGaAlAs-MQWの障壁層であり、1103はInGaAsP-MQWの井戸層、1104はInGaAsP-MQWの障壁層である。しかし一般に半導体の電子の有効質量は正孔の1/10以下であるためInGaAlAs-MQWの深い伝導帯側の井戸層であってもある程度井戸層外のp型InPクラッド層へ漏れでしまう。そこで図1 2或いは図1 3に示すようにInAlAs電子ストップ層106をp型SCH層の外側へ導入することにより良好な電子閉じ込め効果を得ることができる。図1 2において105はp型InGaAlAsのGRIN-SCH (Graded-Index Separate Confinement Heterostructure)構造でGaとAlの組成比を傾斜的に変えてバンドギャップを変化させた構造で光を良好に閉じ込めることができる。SCH層は光ガイド層とも呼ば

れる。106はp型InAlAsの電子ストップ層である。103はn型のInGaAlAsのGRIN-SCH構造で102はn型InAlAs層である。また、図13においては1301はp型InGaAlAsのSCH層で、1302はn型InGaAlAsのSCH層である。106がInAlAs層であり伝導帯側へのバンド不連続が大きいために102或いは1302のn型層側から来る電子をこの層で止めることができるため、高温においても良好なレーザ特性を得ることができる。

【 0 0 0 5 】

その他のInGaAlAs-MQWを活性層とした発明は特開平11-5487に開示されている。また、10Gb/sの動作例は筆者らにより「2001年秋季第62回応用物理学会学術講演会講演予稿集 13p-B-6, p. 869」に開示されているように-10℃から85℃までの10Gb/s動作を実現している。

【 0 0 0 6 】

しかしこれらの開示されているレーザは半導体両端面の反射鏡を共振器とするいわゆるFP(Fabry-Perot)型レーザあり同時に多数の波長の光スペクトルが発振するため600mから2kmが伝送距離の限界といわれている。前述したように高速ルータ装置間の距離は数10kmまでであるために単一モードで発振するInGaAlAs-MQWレーザが望まれる。単一モード発振できるDFBレーザをInGaAlAs-MQWに適用した例は特開2002-57405に開示されているようにInGaAsP層の回折格子がInPクラッドの中に浮いている構造のフローティング型回折格子がある。しかしこの構造を使用したレーザはT. Takiguchiらによって"Optical Fiber Communication Conference 2002, Technical Digest, ThF3, pp.417-418"に開示されているように10Gb/s動作は75℃に抑えられている。これは素子の抵抗が高いためその原因をプロセス概略を含めて以下に考察する。まず、図5に示す多層構造をn型InP基板101上に結晶成長する。図5において502はn型SCH層、503は活性層、504はp型SCH層、505はp型InP層、506はp型InGaAsPのエッチストップ層、507はp型InP層、508はp型InGaAsP層である。つぎに508に干渉露光法あるいはEB(Electron Beam)描画法により回折格子パターンを形成し選択ウェットエッチング法により508の層をエッチングし図6のように回折格子層を形成する。図7は図6のA-A'の断面図である。この後、図6或いは7において回折格子上にInP層等の再成長を行うが、ここで

素子抵抗増大の問題が存在する。それは図7のように回折格子の形成時や大気に曝すことにより回折格子上にSiやO等のn型の不純物が必ず付着するためにこの界面領域でp層の等価的なキャリア濃度が下がり抵抗が増大する。InP等の化合物半導体のp型の抵抗率はn型に比べて高く、キャリア濃度が低いとより抵抗率が上がるために抵抗の増大は顕著となる。図7において701はSiやOのn型の不純物である。不純物を取る一つの方法は再成長前に真空中で高温にして飛ばしてしまう方法である。しかし、化合物半導体、特にInGaAsPやInPで凹凸の有る構造は500℃以上の高温で放置すると凹凸形状が崩れてしまい平坦になり回折格子の効果が無くなる。もう1つの方法は過剰にp型のドーピングを行うキャリア補償の方法である。InPまたはInGaAsPのp型ドーパントにはZnが用いられており、図5の結晶成長時、或いは再成長時に多量のZnを導入すれば良い。しかし、一般にInP層のZnの飽和濃度は小さいため、図7の構造において回折格子の底部に露出している507のInP層領域のキャリア補償は難しく抵抗増大の原因となる。

【 0 0 0 7 】

InP層を再成長した後はコンタクト層のInGaAsを引き続き再成長しメサをエッチングで形成してリッジ型構造を作製したのが図8である。図8において108がp型InPクラッド層、109がp型InGaAsコンタクト層である。ここで図8のA-A'断面は図9のようになる。図9において109のp型InGaAsコンタクト層から注入された正孔は下方向に流れる。しかし、508のInGaAsP回折格子層の周りでバンドギャップの差によりノッチができるためInGaAsP回折格子層には電流が流れにくくなる。この状況を図9のP-P'断面とQ-Q'断面のバンド構造により図10にて説明する。図10において(a)はP-P'断面のバンド構造図であり、右側が伝導帯で左が価電子帯である。同図においてそれぞれ、1001は108のp型InPクラッド層、1002は508のp型InGaAsP回折格子層、1003は507のp型InP層のバンド構造であり、p型ドーピングした熱平衡状態のバンド図である。図から回折格子層を通るP-P'断面ではp型のキャリアがバンドギャップの低いところへ移動してノッチが発生していることがわかる。一方、回折格子層が無いQ-Q'断面はノッチは存在しない。よって図9の矢印のように電流は回折格子を避けて流れるため等価的に電流の流れる面積が半分になり抵抗が増大する。以上のように本回折格子構造は再成長界

面での不純物と回折格子層のノッチの二つの要因により素子抵抗が増大する。

【 0 0 0 8 】

また、InGaAsPを活性層とするDFBレーザは例えばM. Okaiにより"Journal of Applied Physics, Vol.75, No. 1, pp. 1-29, 1994"に開示されているようにInGaAsPのSCH層に回折格子を形成している。図14に概略図を示す。図14において101はn型InP基板、1402は回折格子が形成されたn型InGaAsPのSCH層、1403がInGaAsP-MQWの活性層、1404がp型InGaAsPのSCH層、1405がp型InPクラッド層、1406がp型InGaAs層である。

【 0 0 0 9 】

【発明が解決しようとする課題】

本発明が解決しようとする第1の課題は素子抵抗が小さく高温においてもレーザ特性が良好で高速に動作し、単一モードで発振する半導体レーザまたは半導体レーザ集積化光源を提供することにある。

さらに本発明が解決しようとする第2の課題は単一モードで発振するリッジ型レーザにおいて素子抵抗が小さくかつ回折格子の結合係数とリッジ形状の幅が独立に制御できる構造の半導体レーザまたは半導体レーザ集積化光源を提供することにある。また、本発明が解決しようとする第3の課題は素子抵抗が小さい単一モードで発振する半導体レーザにおいて回折格子の結合係数が大きくかつレーザ特性特にしきい電流と効率が高温でも劣化しない構造を有する半導体レーザまたは半導体レーザ集積化光源を提供することにある。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】

本発明において上記の第1課題は、InP基板上に複数の積層された層を有し、InGaAlAsからなる多重量子井戸活性層の上にInGaAlAsの光ガイド層、InAlAs電子ストッパ層、回折格子を有するInGaAsP層、InPクラッド層が順に積層され、当該回折格子を有するInGaAsP層の回折格子の凹部の深さがInGaAsP層の厚さより小さいことを特徴とする光半導体装置により達成される。

上記の第2の課題はInP基板上に複数の積層された層を有し、InGaAlAsからなる多重量子井戸活性層の上にInGaAlAsの光ガイド層、InAlAs電子ストッパ層、回折

格子を有するInGaAsP層、InPスペーサ層、InGaAsPエッチストップ層、InPクラッド層が順に積層され、当該回折格子を有するInGaAsP層の回折格子の凹凸の深さが回折格子を有するInGaAsP層の厚さより小さいことを特徴とする光半導体装置により達成される。

また、上記の第3の課題は回折格子を有するInGaAsP層の一部が多重量子井戸層で構成されることを特徴とする光半導体装置により達成される。

【 0 0 1 1 】

【発明の実施の形態】

【実施例1】

第1の実施例は本発明を通信用 $1.3\mu\text{m}$ 帯DFBリッジ型レーザに適用した例である。図1に絶縁保護層と電極形成前の鳥瞰図を示す。図1において101はn型InP基板で下部クラッド層としても働く。102は厚さ30nmでn型InAlAs層、103キャリア濃度 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ で厚さ $0.08\mu\text{m}$ のn型InGaAlAsのGRIN-SCH層、104は井戸層が厚さ5.5nmで圧縮歪1.4%、障壁層が厚さ10nmで引っ張り歪0.6%である7層の総厚 $0.1185\mu\text{m}$ のアンドープInGaAlAs-MQWあり $1.3\mu\text{m}$ にて発振するように組成を調整している。105はキャリア濃度 $6\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ で厚さ $0.04\mu\text{m}$ のp型InGaAlAsのGRIN-SCH層、106はキャリア濃度 $9\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ で厚さ $0.04\mu\text{m}$ のp型InAlAsの電子ストップ層、107はキャリア濃度 $1.4\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ で厚さ $0.07\mu\text{m}$ のp型InGaAsPの回折格子層である。107の回折格子層の組成波長は $1.15\mu\text{m}$ とした。108はキャリア濃度 $1.2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ で厚さ $1.5\mu\text{m}$ のp型InPの第1上部クラッド層であり幅 $1.6\mu\text{m}$ のリッジ型のメサストライプとなっている。109は電極とオーミック接続を得るためのコンタクト層であり、InP基板に格子整合したp型InGaAsが使用される。図1までのプロセス工程を簡単に説明する。まず図2(a)のようにn型InP基板上にウェハー一面内均一性に優れるMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: 有機金属気相成長法, MOVPE(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)と記すこともある)により回折格子層107までの多層構造を連続して結晶成長させ、さらにその上にSiO₂膜201をプラズマCVD法により形成する。次いで干渉露光法あるいはEB描画法によりSiO₂膜201上に周期200nmの回折格子パターンをレジストにより形成し、SiO₂膜をドライエッチング法によりエッチングしSiO₂膜の回折格子パターンを10

7上に形成する。つぎに、このSiO₂膜の回折格子パターンをマスクとしてメタンガス系の半導体ドライエッチ法により回折格子を107の回折格子層に転写する。このときの回折格子層の凹凸の高さは0.03 μ mとし107層の途中で止める必要がある。ドライエッチング法は精密なエッチング量制御が可能で垂直性（すなわち異方性）にすぐれ、面内均一性に優れる方式であるので0.025 μ mの微細な加工をすることができる。引き続き、ダメージ除去のためのH₃PO₄と過酸化水素水系のウェットエッチングで0.005 μ mエッチングを行い、SiO₂マスクを除去する。SiO₂マスク除去後を図2の(b)に示す。この後MOCVD法によりp型InPクラッド層108とp型InGaAs層109を連続して成長する（図2(c)）。この多層構造上にフォトリソグラフィ法によりメサパターンを形成しH₃PO₄と過酸化水素水系のウェットエッチングでInGaAs層109をエッチングし、109をマスクとしたメサストライプマスクを形成する。さらにHClと酢酸系のエッチング液により108のInPクラッド層をエッチングする。その際、回折格子層107はInGaAsPでありこの上でエッチングが停止するので図1の形状となる。この形状のウェハーにSiO₂保護膜301を成膜し、セルフアライン法によりメサの上部のみのSiO₂保護膜を除去しp側電極302とn側電極303を形成すると図3の構造となる。

【 0 0 1 2 】

ここで本発明により素子抵抗が従来技術に比べて低減する理由を詳細に説明する。従来技術において素子抵抗が高い理由の1つは回折格子上への再成長の際にキャリア補償ができないためであった。これに対して本実施例では再成長前は図2の(b)のように再成長界面がすべてInGaAsPで覆われており再成長初期のp型ドーパントであるZn飽和濃度が高いので濃度を上げてキャリア補償することができ、素子抵抗が低減する。表1は我々が実験した従来技術のフローティング回折格子層のDFBレーザと本実施例のDFBレーザの素子抵抗の比較である。本実験においては再成長初期のZnのキャリア濃度を2種類変えて行った。

【 0 0 1 3 】

【表 1】

表 1

再成長時Zn濃度(cm^{-3})		1×10^{18}	2×10^{18}
素子抵抗 (Ω)	フローティング 回折格子	10	10
	本実施例	8.5	6.5

【0014】

表 1 から従来のフローティング回折格子の場合にはZnのキャリア濃度を上げて素子抵抗は低減しなかった。これは従来技術で説明したようにフローティング回折格子の場合は回折格子凹凸の底部がInP層でありZnに対する飽和濃度が低く、再成長時にZnのキャリア濃度を上げてInP層の下層へ拡散したためである。これに対して本実施例の構造ではZnのキャリア濃度増大により抵抗が低減しており、キャリア補償の効果を確認することができた。尚、本実施例のようにZnを飽和濃度以上にドーピングしながら成長するときにはMQWへの拡散に注意しなければならない。ZnがMQW活性層に多量に（おおよそ $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上）入り込んでしまうと大きい電流、効率等のレーザ特性が劣化する。本実施例の構成は図 15 に示す様に107のInGaAsP回折格子層だけではなく104のMQWまでの層、すなわち、106のInAlAs電子ストップ層と105のInGaAlAsのGRIN-SCH層の飽和濃度が高いためZnが拡散してもこの領域で止まりMQW活性層までの拡散を防げる構造になっている。

【0015】

従来技術において素子抵抗が高い第 2 の理由は回折格子とその周りのバンド構造に起因するものであった。これに対する本実施例の図 1 のA-A'の横断面構造とそのバンド構造図を図 4 に示す。図 4 (a)は横断面構造であり、そのバンド構造が(b)である。(b)においてそれぞれ、401は108の p 型InPクラッド層、402は107の p 型回折格子層、403は106のp型InAlAs電子ストップ層、404は105の p 型InGaA

1AsのGRIN-SCH層のバンド構造でありドーピングした熱平衡状態のバンド図である。図4 (b)から従来構造に比べてノッチが少なく、401と402の間にノッチがあるのみである。これは107のInGaAsP層と106のInAlAs電子ストップ層間の価電子帯側のバンド不連続差が小さいからであり、本実施例では107の組成波長は $1.15\mu\text{m}$ であるので価電子帯側のバンド不連続差はわずか 9meV である。さらにこれらの層のドーピング濃度が高いために図4 (b)のようにバンド不連続差は小さくなる。しかも、従来例とは異なり回折格子の凹凸の位置によらず図4 (b)のバンド構造は変わらないので電流は回折格子を一様に流れ素子抵抗は小さくなる。尚、107のInGaAsP回折格子の組成波長は短波長すぎると再成長時に回折格子の凹凸が崩れてしまうのとメサエッチング時のInPとの選択比が小さくなるため、 $1.15\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。また、長波長すぎると106のInAlAs電子ストップ層とのバンド不連続が大きくなりノッチが出来てしまうため、電子の熱エネルギーの2倍相当の 54meV のバンド不連続である $1.24\mu\text{m}$ 以下であることが望ましく、さらに本実施例では $1.3\mu\text{m}$ で発振するため光の吸収を考慮すると $1.21\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。また、本実施例では回折格子層は単一の組成波長の構造を用いていたが異なる組成波長を積層してもその効果は失われない。

【 0 0 1 6 】

尚、特開平11-5487に開示されているものは図16に示す様にInAlAs電子ストップ層の上にInGaAsPエッチストップ層506が用いられているが、開示されている構造は再成長することなくp型InP層及びコンタクト層まで1度に成長するものであり、InGaAsP層が平坦であることが本実施例とは異なる。さらに回折格子が形成不能な短い組成波長により構成されているところが本発明とは大きく異なる。また、従来から主に埋込型レーザで用いられている回折格子は図14のようにSCH層に凹凸形状を形成したもので本実施例のように活性層とSCH層から離れた位置に独立に形成されるものとは異なる。

【 0 0 1 7 】

本実施例では本発明の優れた 6.5Ω の低い素子抵抗を反映して共振器長 $200\mu\text{m}$ で前面0.4%の低反射膜、後面90%の反射鏡を施したDFBレーザにおいて、 25°C にて 8.0mA の低しきい電流を得ることができた。また、 85°C の高温においても1

9.2mAの低しきい電流であった。スロープ効率は25℃,85℃においてそれぞれ0.23 W/A, 0.19 W/Aと良好であった。さらに図17に示す様に85℃において従来例に比べて約3倍の最大光出力を得ることができた。また、回折格子はEB描画で作製したシフト位置が8:2の後方にある $\lambda/4$ 型の構造を有するものを作製したため単一モード歩留まりが60%と良好であった。以上の特性を反映して85℃において消光比7dBで10Gb/s伝送において良好なアイ開口を得ることができた。

【0018】

【実施例2】

第2の実施例は本発明を通信用1.55 μm 帯DFBリッジ型レーザに適用した例である。図18にその構造図を示す。図18において101はn型InP基板で下部クラッド層としても働く。1302はキャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で厚さ0.08 μm で組成波長0.95 μm のn型InGaAlAsのSCH層、1801は井戸層が厚さ6nmで圧縮歪1.4%、障壁層が厚さ10nmで引っ張り歪0.6%である7層の総厚0.122 μm のアンドープInGaAlAs-MQWあり1.55 μm にて発振するように組成を調整している。、1301はキャリア濃度 $6 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ で厚さ0.04 μm で組成波長0.95 μm のp型InGaAlAsのSCH層、106はキャリア濃度 $9 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ で厚さ0.04 μm のp型InAlAsの電子ストップ層、1802はキャリア濃度 $1.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で厚さ0.04 μm で組成波長1.15 μm の上に厚さ0.03 μm で組成波長1.2 μm のp型InGaAsPが積層され、上部の1.2 μm 組成の層に凹凸形状がついている回折格子層である。1803はキャリア濃度 $1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型InPスペーサ層、506はキャリア濃度 $1.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で組成波長1.15 μm のInGaAsP層エッチストップ層、108はキャリア濃度 $1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で厚さ1.5 μm のp型InPの第1上部クラッド層であり幅1.8 μm のリッジ型のメサストライプとなっている。109は電極とオーミック接続を得るためのコンタクト層であり、InP基板に格子整合したInGaAsが使用される。また、301はSiO₂保護膜、302はp側電極、303はn側電極である。作製プロセスは実施例1とほぼ同じであるが、回折格子形成後にまず、InPスペーサ層1803とInGaAsPエッチストップ層506を成長し、さらに連続してInPクラッド層を成長する。実施例1との構造上の大きな違いの1つは回折格子の上にInPスペーサ層1803とInGaAsPエッチストップ層506が挿入されていることである。これらの層を入れることにより回折格子の結合係数 κ とリッジ

メサストライプの横モードの高次モードのカットオフ幅を独立に制御できる。共振現象のQ値に相当する結合係数 κ は回折格子層内の光密度と正の相関があるためMQW活性層1802と近づけたほうが回折格子層内の光密度が上昇して κ が増加する。一方、光ファイバーとの光結合を取るためにはレーザ内部のニアフィールドパターンが単峰性でなくてはならず、リッジメサストライプの横モードにおいて高次モードが立たない条件にしなければならない。リッジ型レーザではリッジメサストライプの底部、すなわち図3では107の上部層、図18では506の上部と活性層との距離が短いほどカットオフのメサの幅(108の幅)が小さくなる。メサの幅が小さくなると108部での抵抗が大きくなるので素子抵抗が増加してしまう。実施例1の構造では回折格子層とメサストライプの底部が同一のため κ と横モードのカットオフ幅を独立に制御できなかったが、本実施例は独立に制御することができる。但し、506のエッチストップ層の上下がInP層で挟まれるためここでノッチが出来て多少抵抗が増加する。しかし、この層は再成長界面ではないため素子抵抗の増加は小さい。また、本実施例では1803はInPのスペーサ層を用いていたが、InAlAsを用いてもその効果は変わらない。

【0019】

本実施例では本発明の優れた 6.8Ω の低い素子抵抗を反映して共振器長 $200\mu\text{m}$ で前面0.4%の低反射膜と、後面90%の反射鏡を施したDFBレーザにおいて、 25°C にて8.9mAの低しきい電流を得ることができた。また、 85°C の高温においても22.4mAの低しきい電流であった。スロープ効率 0.19W/A 、 0.14W/A と良好であった。また、回折格子はEB描画で作製したシフト位置が7:3の後方にある $\lambda/4$ 型の構造を有するものを作製したため単一モード歩留まりが56%と良好であった。以上の特性を反映して 85°C において消光比7dBで10Gb/s伝送において良好なアイ開口を得ることができた。

【0020】

【実施例3】

本実施例は本発明をInP基板上に作製した通信用 $1.3\mu\text{m}$ 帯DFBリッジ型レーザに適用した例である。構造は実施例1とほぼ同等である。実施例1との違いは107の回折格子層の一部がInGaAsPの量子井戸層構造になっていることである。図

19に本実施例の図1のA-A'の横断面構図を示す。同図において1901は厚さ $0.04\mu\text{m}$ 、キャリア濃度 $1.4 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ で組成波長が $1.15\mu\text{m}$ のInGaAsP層であり、1902は井戸層が厚さ 4nm で障壁層が厚さ 7nm の3層のInGaAsP-MQWでキャリア濃度 $1.2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ に一樣にドーピングされており、発光波長は $1.22\mu\text{m}$ に調整されている。この場合井戸層の組成波長は $1.3\mu\text{m}$ 程度になるが、井戸層が狭いのと、量子井戸層の量子効果により井戸層内の状態密度が小さくなっているため、ノッチは小さく素子抵抗増大は軽微に押さえられる。回折格子形成時にはMQW層のみをドライエッチングでエッチングすれば良くその他のプロセスは実施例1と同等である。このように回折格子をMQW構造にすることにより同一の凹凸深さと結合係数 κ においても特に高温における回折格子の吸収を小さくすることができ、高温でのレーザ特性が向上する。図20は同一の結合係数 κ と凹凸深さにおける実施例1、2で使用した通常のバルク回折格子とMQW回折格子の光吸収と波長の関係をそれぞれ模式的に示したものである。バルク回折格子は一般に吸収曲線にテイルが出るのに対してMQW回折格子はテイルを引かず急峻な特性が得られるためレーザの発振波長での光吸収が小さくなる。DFBレーザでは高温になってもレーザ発振波長は $0.1\text{nm}/^\circ\text{C}$ 程度しか長波長側に変化しないのに対して回折格子は $0.6\text{nm}/^\circ\text{C}$ で長波長側に移動するため高温でのバルク回折格子の光吸収はより大きくなる。よってMQW回折格子は高温での光吸収が小さく良好なレーザ特性が得られる。

【0021】

本実施例では本発明の優れた 7.0Ω の低い素子抵抗を反映して共振器長 $200\mu\text{m}$ で前面 0.4% の低反射膜、後面 90% の反射鏡を施したDFBレーザにおいて、 25°C にて 7.5mA の低しきい電流を得ることができた。また、 85°C の高温においても 17.2mA の低しきい電流であった。スロープ効率は 25°C 、 85°C においてそれぞれ 0.25W/A 、 0.21W/A と良好であった。また、回折格子はEB描画で作製したシフト位置が $8:2$ の後方にある $\lambda/4$ 型の構造を有するものを作製したため単一モード歩留まりが 60% と良好であった。以上の特性を反映して 85°C において消光比 7dB で 10Gb/s 伝送において良好なアイ開口を得ることができた。

尚、本実施例ではMQW回折格子層には一樣にドーピングしているが、より急峻な吸収特性を得るために井戸層のみ或いはMQW回折格子層すべてをアンドープとし

でも良い。また、MQW回折格子をレーザの発振波長より短くしているが、レーザの発振波長と同一のMQW回折格子として利得結合型回折格子とすることもできる。この場合、回折格子が利得を有するためには105のSCH層と106の電子ストップ層の膜厚をレーザ特性が劣化しない程度に薄くしてある程度電子が回折格子に漏れるように調整する必要がある。

【 0 0 2 2 】

また、本実施例は実施例2のようにp型InPスペーサ層とエッチストップ層をMQW回折格子とp型InPクラッド層に挿入する構造でも適用可能なことは言うまでもない。

【 0 0 2 3 】

さらに、実施例1から3ではリッジ型レーザの適用例を述べてきたが、埋込型レーザに適用しても同等の効果が得られることは言うまでもない。また、実施例1から3まではDFBレーザ単体についての適用例を述べてきたが、電界吸収型変調器を集積化した集積化DFBレーザに適用しても同様の効果が得られることは言うまでもない。

【 0 0 2 4 】

【発明の効果】

本発明では、InGaAlAsのMQW層を活性層とするDFBレーザにおいて素子抵抗を低減して高温でのしきい電流、効率、最大光出力等のレーザ特性の向上に対して効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施例を示す構造図。

【図2】

本発明の実施例を示す構造図。

【図3】

本発明の実施例を示す構造図。

【図4】

本発明の実施例を示す構造図及び効果を説明するための図。

【図 5】

従来例を示す構造図。

【図 6】

従来例を示す構造図。

【図 7】

従来例を示す構造図。

【図 8】

従来例を示す構造図。

【図 9】

従来例を示す構造図。

【図 1 0】

従来例を示す構造図。

【図 1 1】

InGaAlAs-MQWとInGaAsP-MQWのバンド構造図。

【図 1 2】

InGaAlAs-MQWとSCH層のバンド構造図。

【図 1 3】

InGaAlAs-MQWとSCH層のバンド構造図。

【図 1 4】

従来例を示す構造図。

【図 1 5】

材料によるZnの飽和キャリア濃度の違いを示す図。

【図 1 6】

従来例を示す構造図。

【図 1 7】

本特許の効果を示す図。

【図 1 8】

本発明の実施例を示す構造図。

【図 1 9】

本発明の実施例を示す構造図。

【図 2 0】

本発明の効果を説明する図。

【符号の説明】

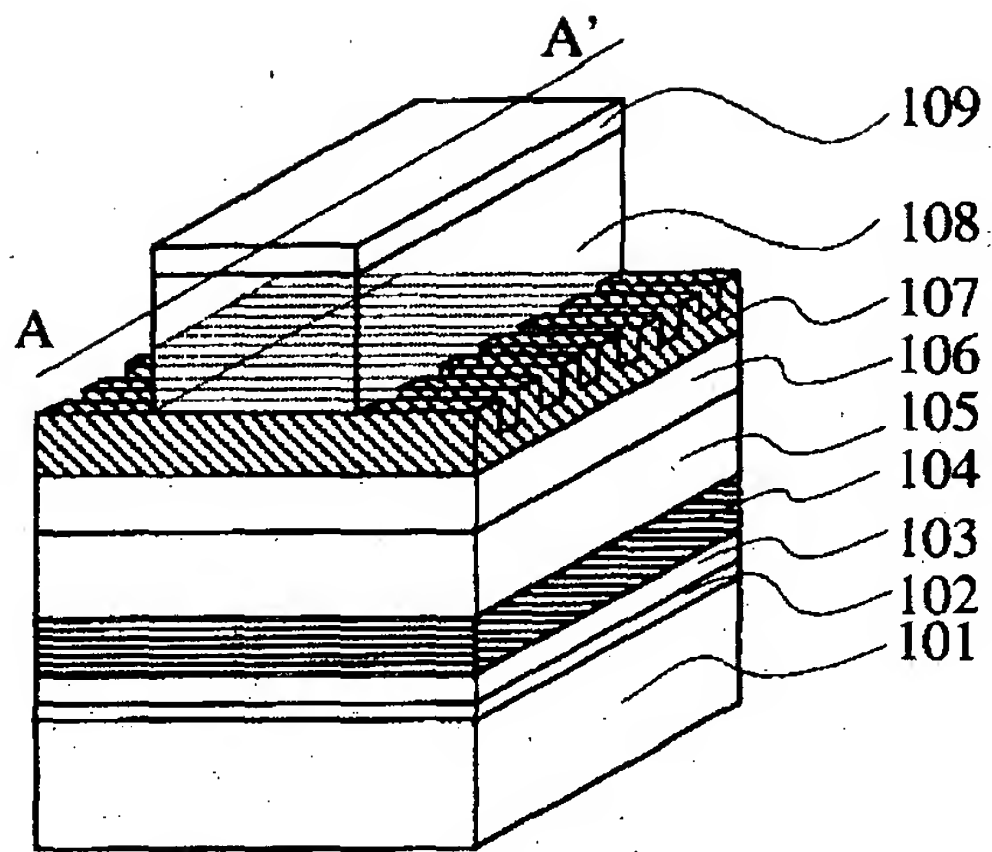
- 101 n 型 InP 基板
- 102 n 型 InAlAs 層
- 103 n 型 InGaAlAs GRIN-SCH 層
- 104 InGaAlAs-MQW 層
- 105 p 型 InGaAlAs GRIN-SCH 層
- 106 p 型 InAlAs 電子ストップ層
- 107 p 型 InGaAsP 回折格子層
- 108 p 型 InP クラッド層
- 109 p 型 InGaAs 層
- 201 SiO₂ 膜
- 301 SiO₂ 保護膜
- 302 p 側電極
- 303 n 側電極
- 401 108 の p 型 InP クラッド層のバンド構造
- 402 107 の p 型 InGaAsP 回折格子層のバンド構造
- 403 106 の p 型 InAlAs 電子ストップ層のバンド構造
- 404 105 の p 型 InGaAlAs GRIN-SCH 層のバンド構造
- 502 n 型 SCH 層
- 503 活性層
- 504 p 型 SCH 層
- 505 p 型 InP 層
- 506 p 型 InGaAsP エッチストップ層
- 507 p 型 InP 層
- 508 p 型 InGaAsP 層
- 701 n 型 ドーパントの不純物

- 1001 108のp型InPクラッド層のバンド構造
- 1002 508のp型InGaAsP回折格子のバンド構造
- 1003 507のp型InP層のバンド構造
- 1101 InGaAlAs量子井戸層
- 1102 InGaAlAs障壁層
- 1103 InGaAsP量子井戸層
- 1104 InGaAsP障壁層
- 1301 p型InGaAlAs-SCH層
- 1302 n型InGaAlAs-SCH層
- 1402 回折格子が形成されたn型InGaAsP SCH層
- 1403 InGaAsP-MQW活性層
- 1404 p 型InGaAsPのSCH層
- 1801 1.55 μ m帯InGaAlAs-MQW層
- 1802 組成波長が異なるInGaAsPが積層された回折格子層
- 1803 p型InPスペーサ層
- 1901 p 型InGaAsP層
- 1902 p 型InGaAsP-MQW回折格子層。

【書類名】 図面

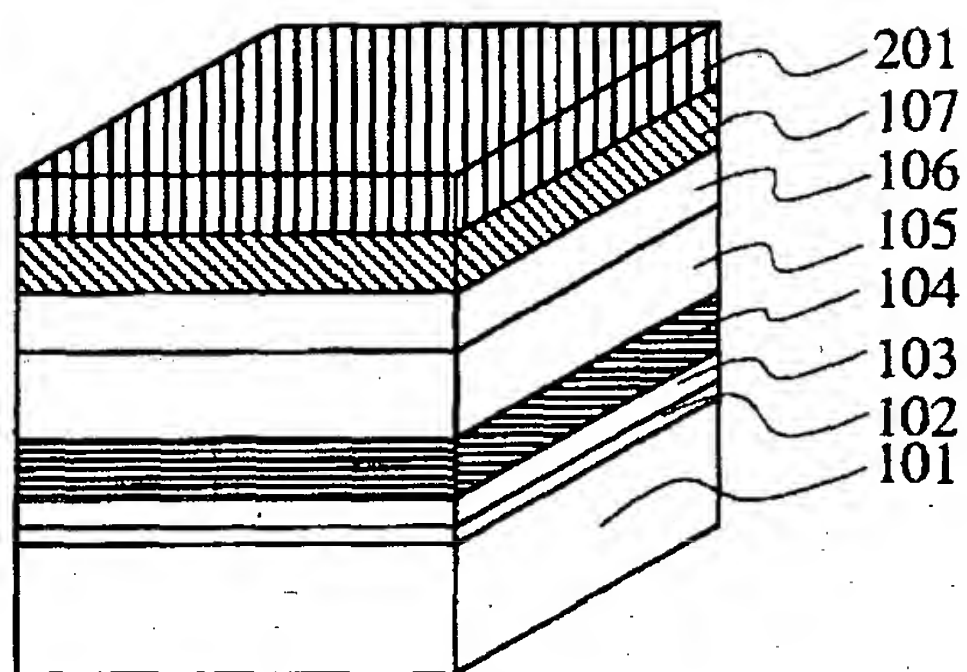
【図 1】

図 1

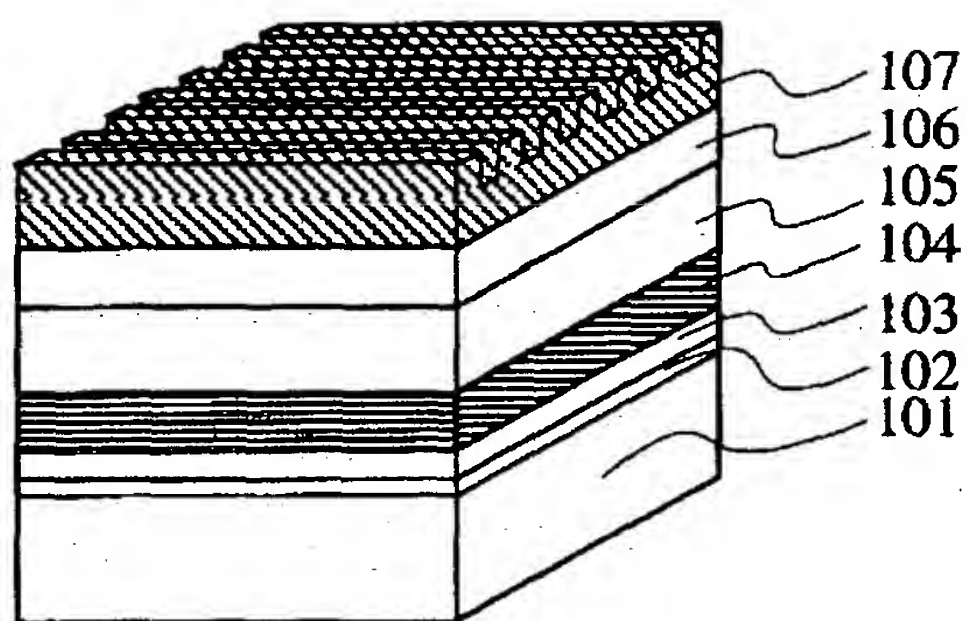


【図 2】

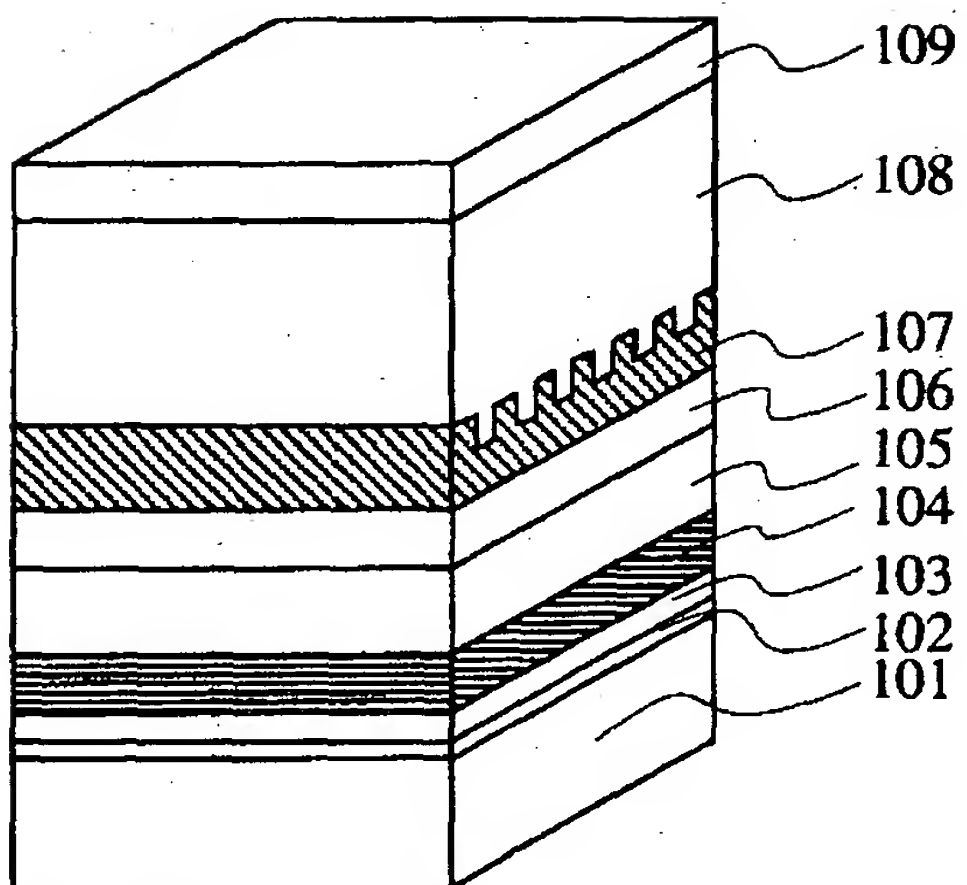
図2



(a)結晶成長



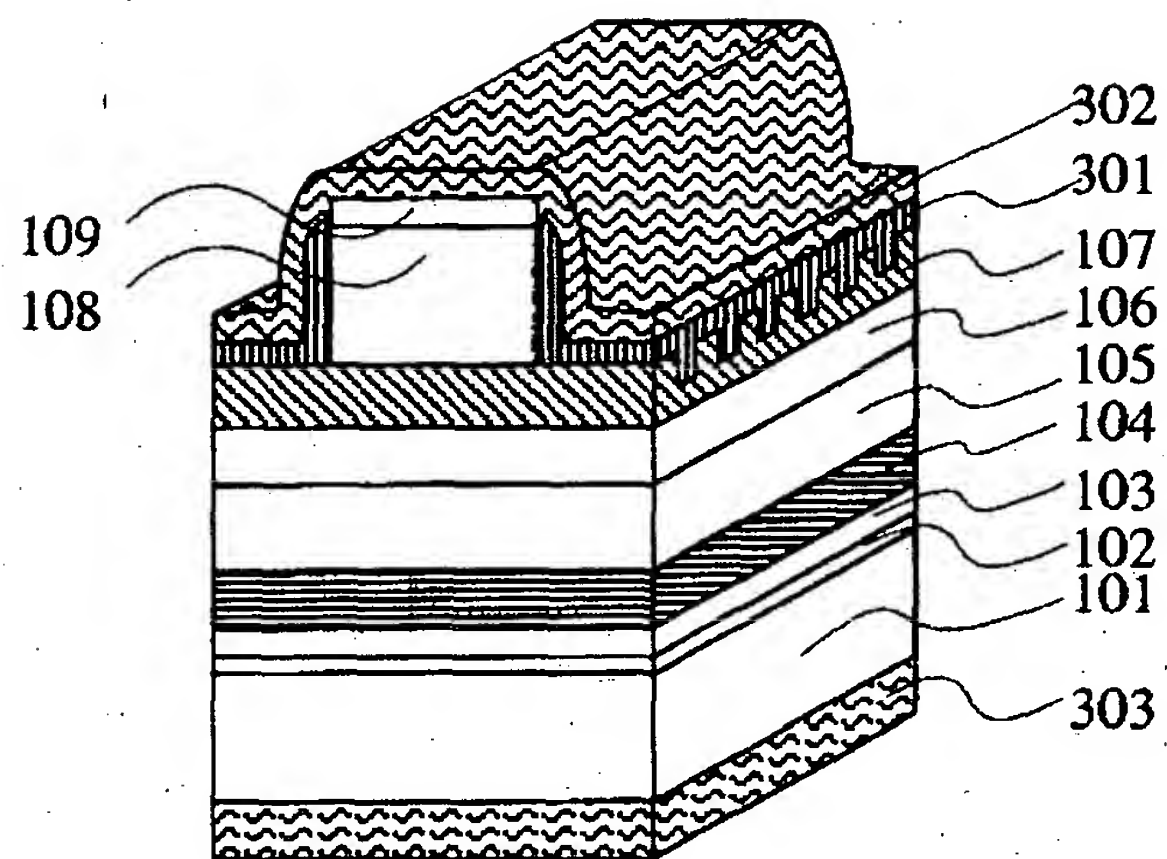
(b)回折格子形成



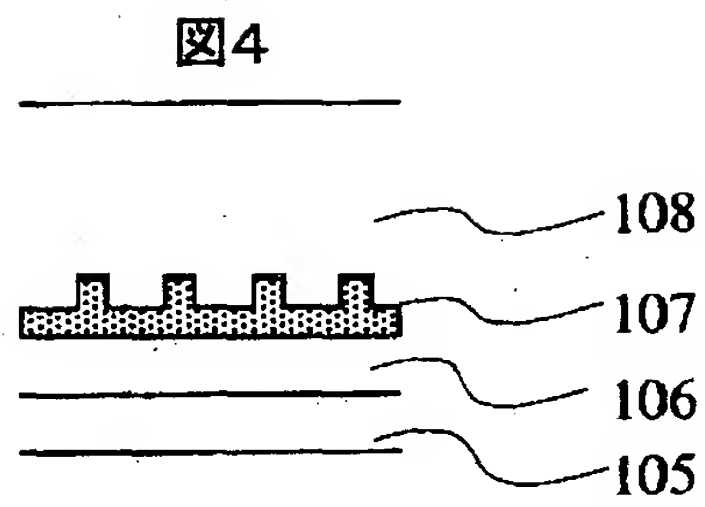
(c)再成長

【図 3】

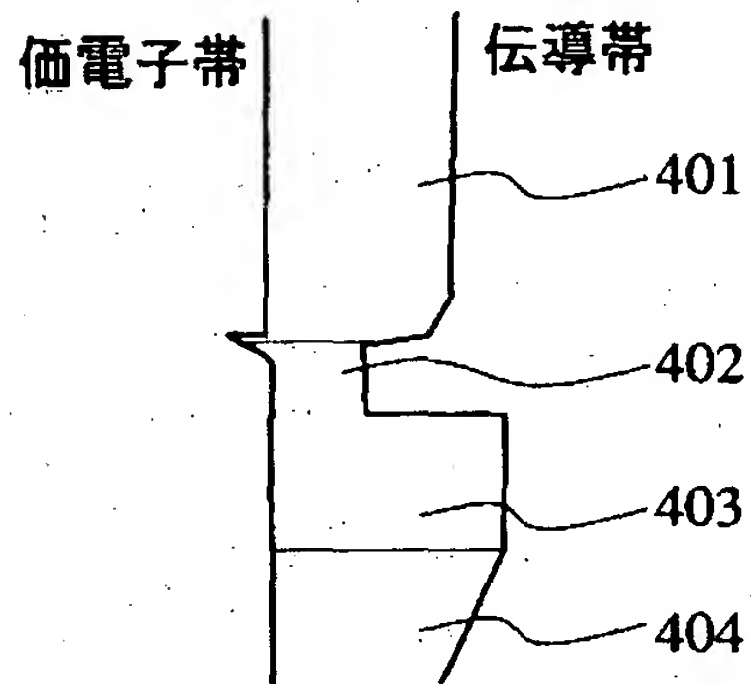
図3



【図 4】



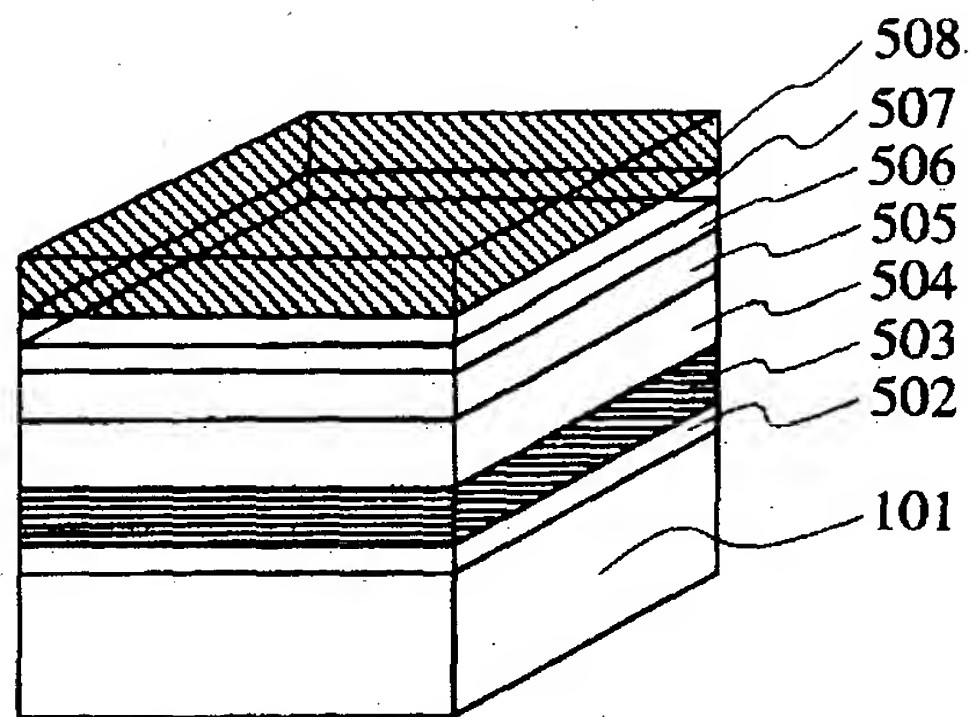
(a) 横断面図



(b) バンド構造図

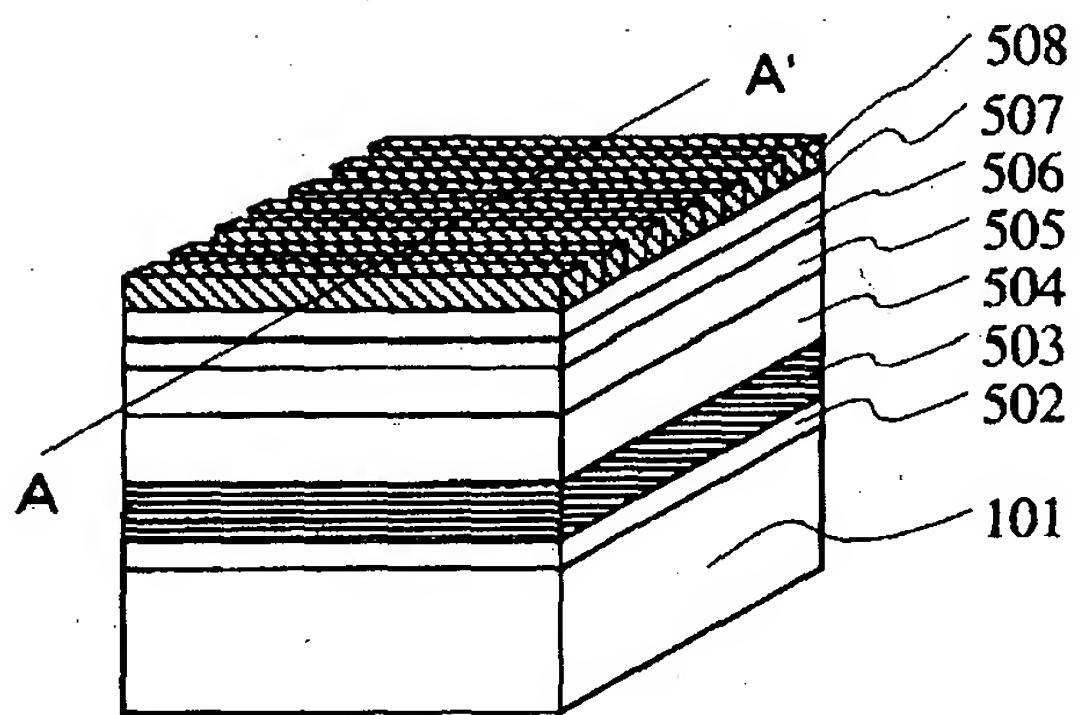
【図 5】

図5



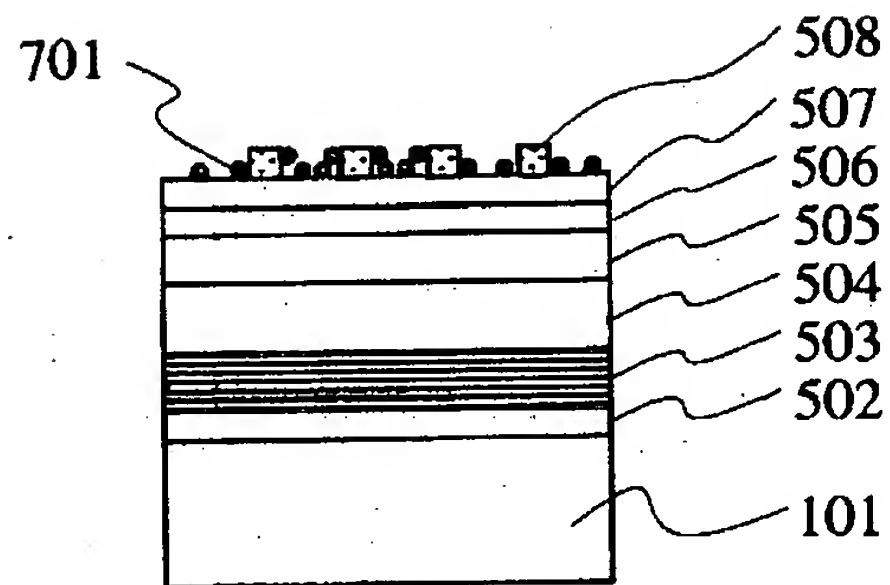
【図 6】

図6



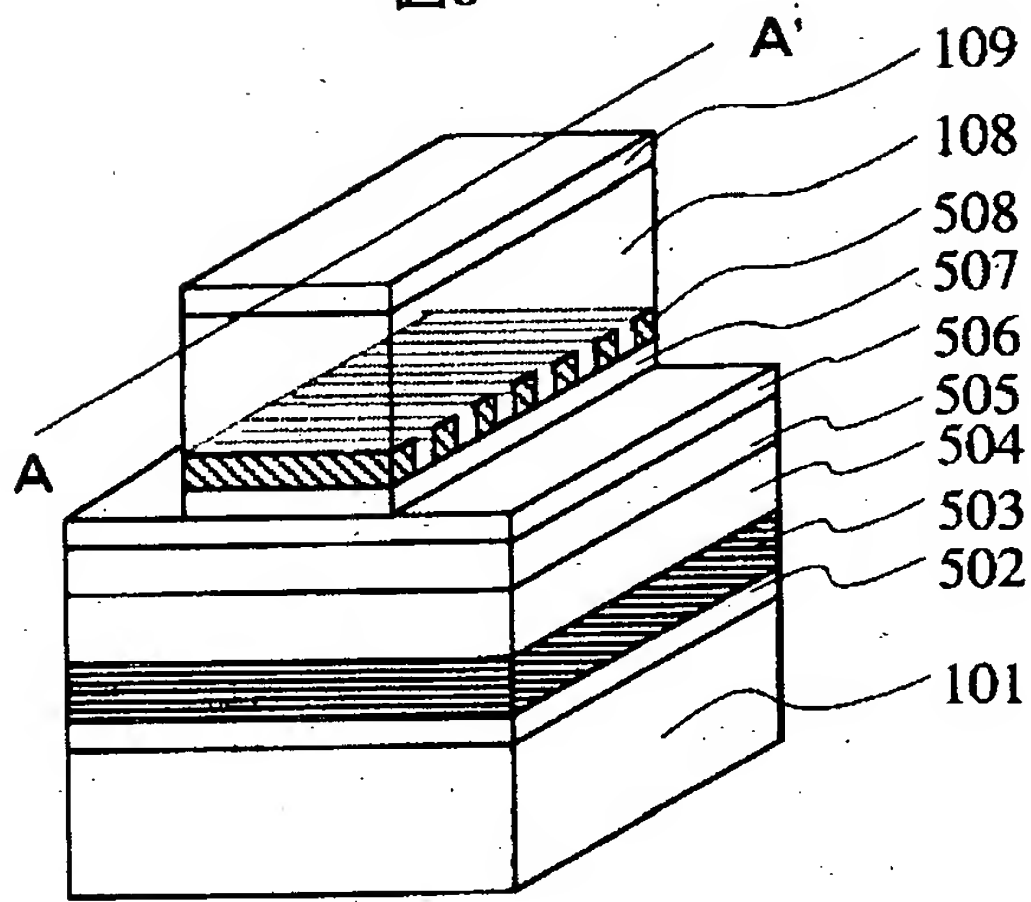
【図 7】

図7



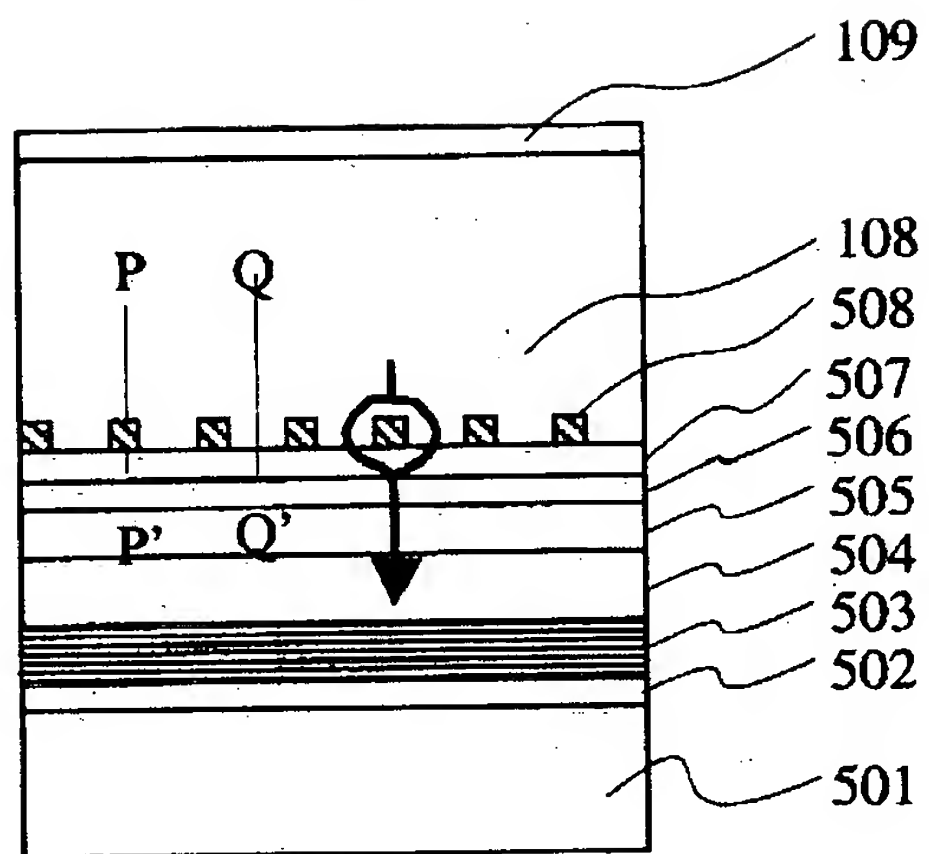
【図 8】

図8

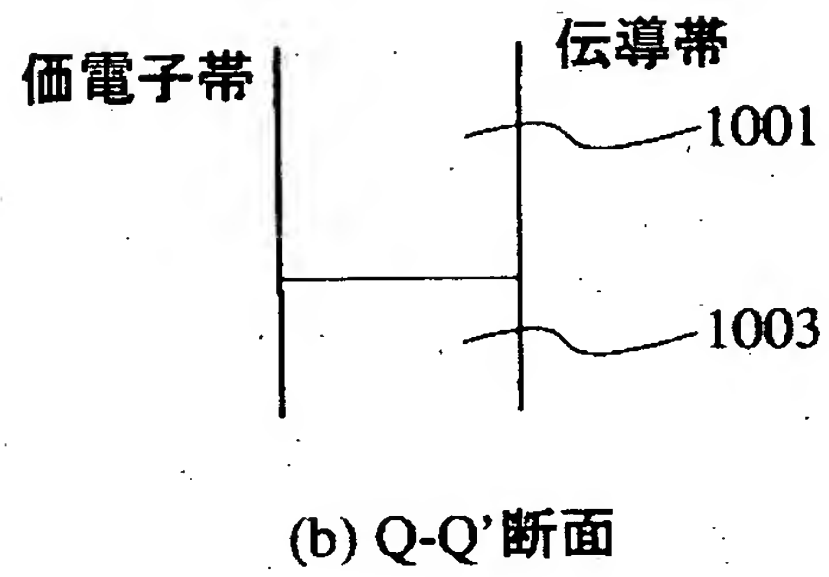
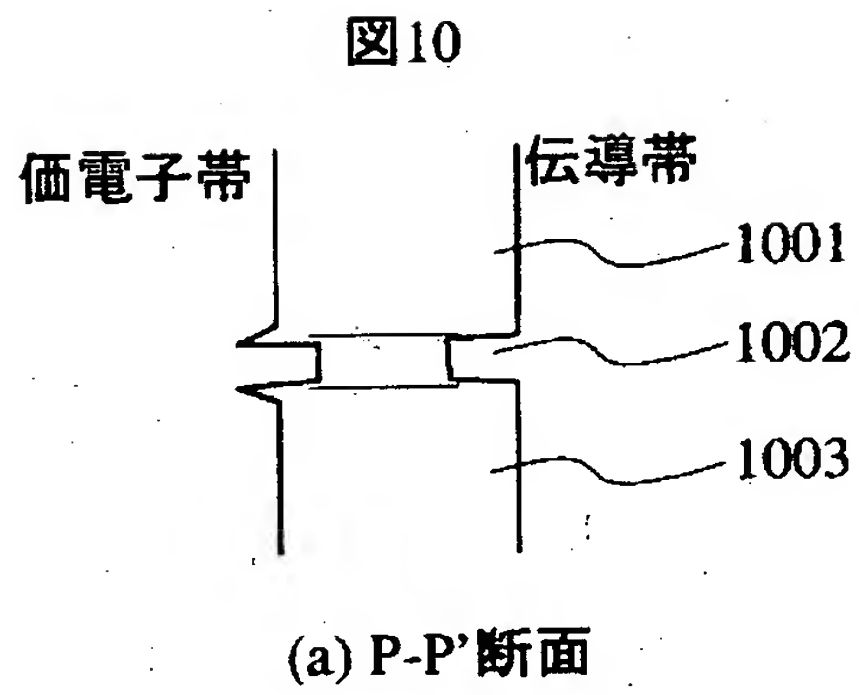


【図 9】

図9

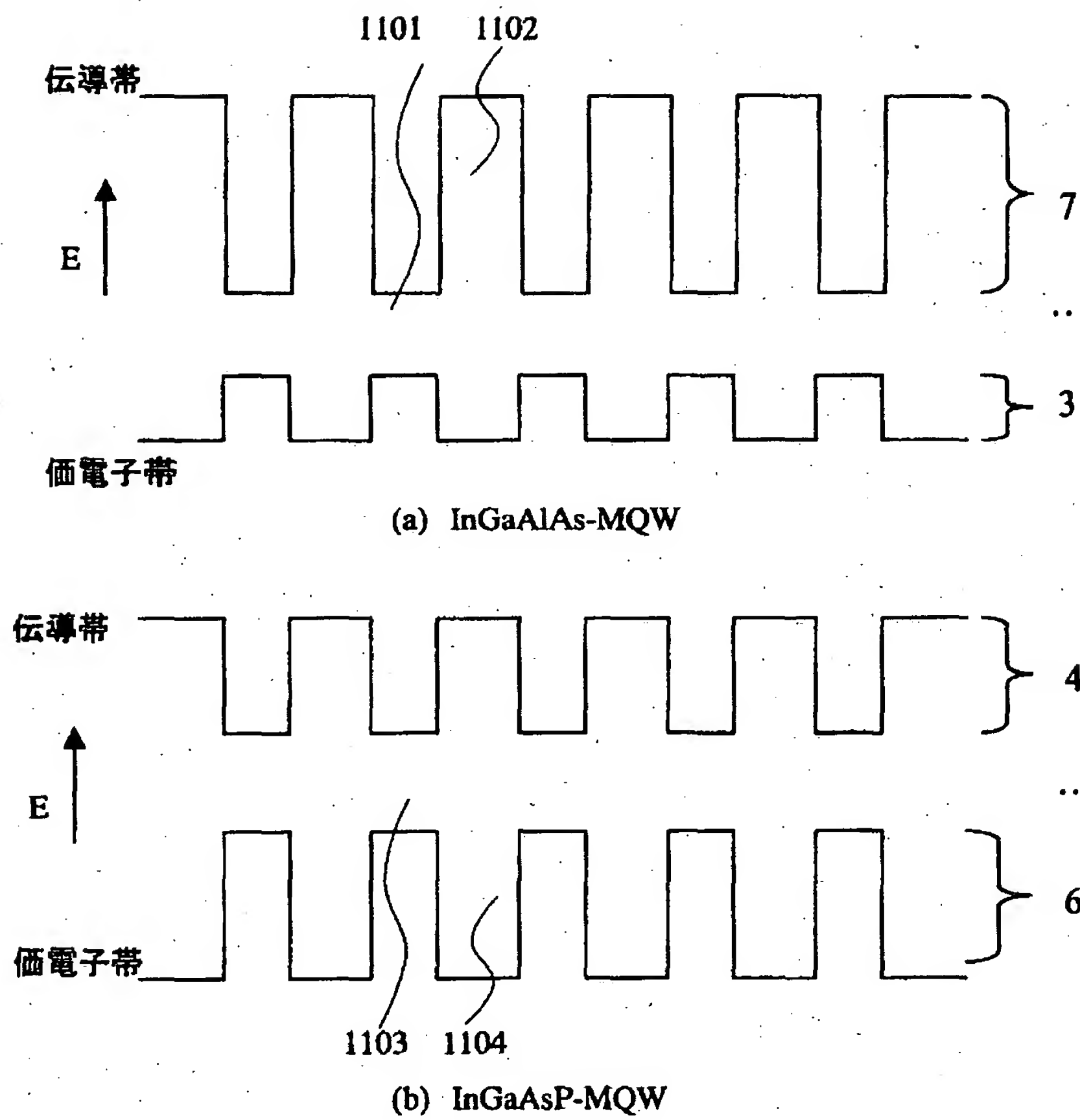


【図 1 0】

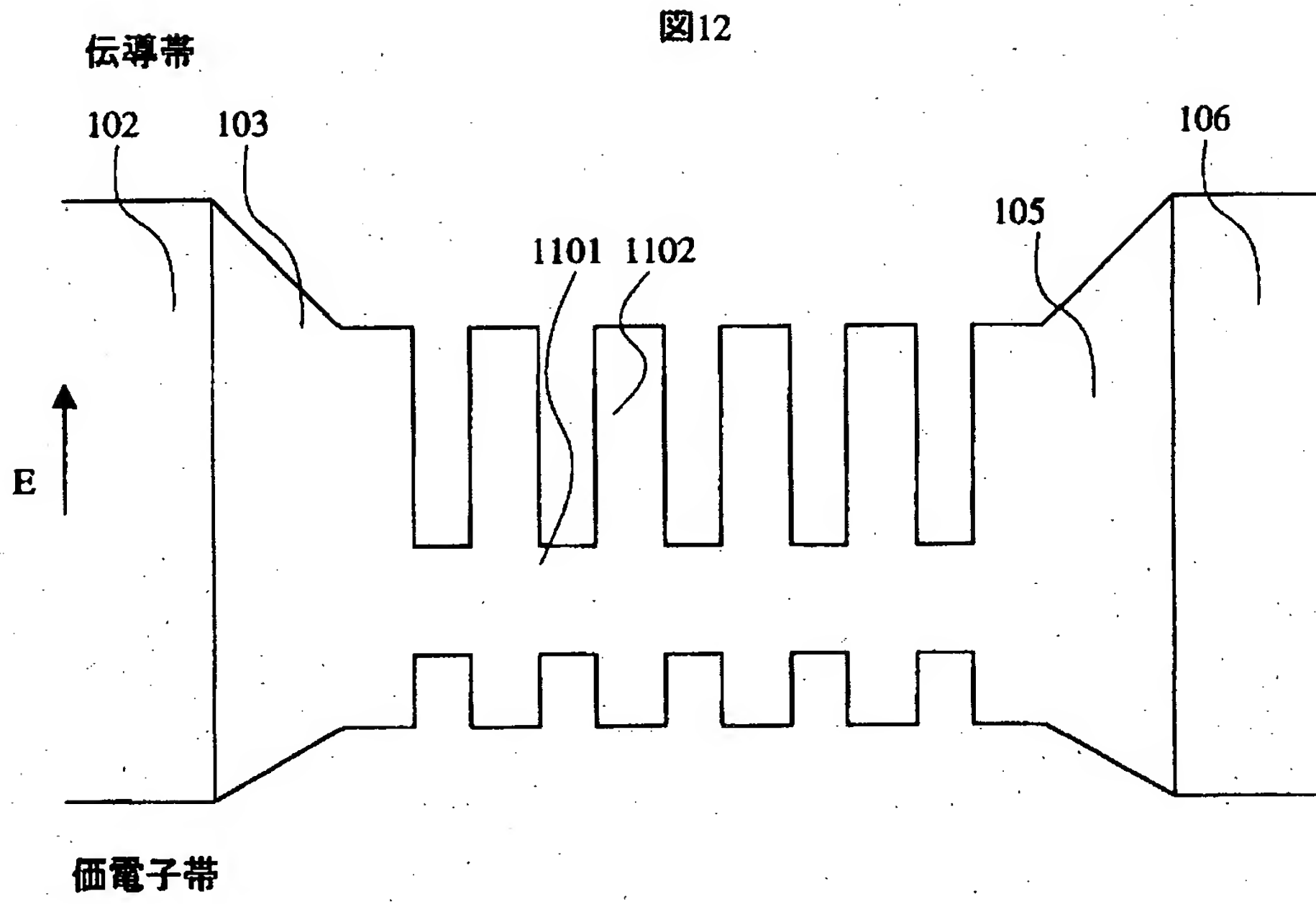


【図 1 1】

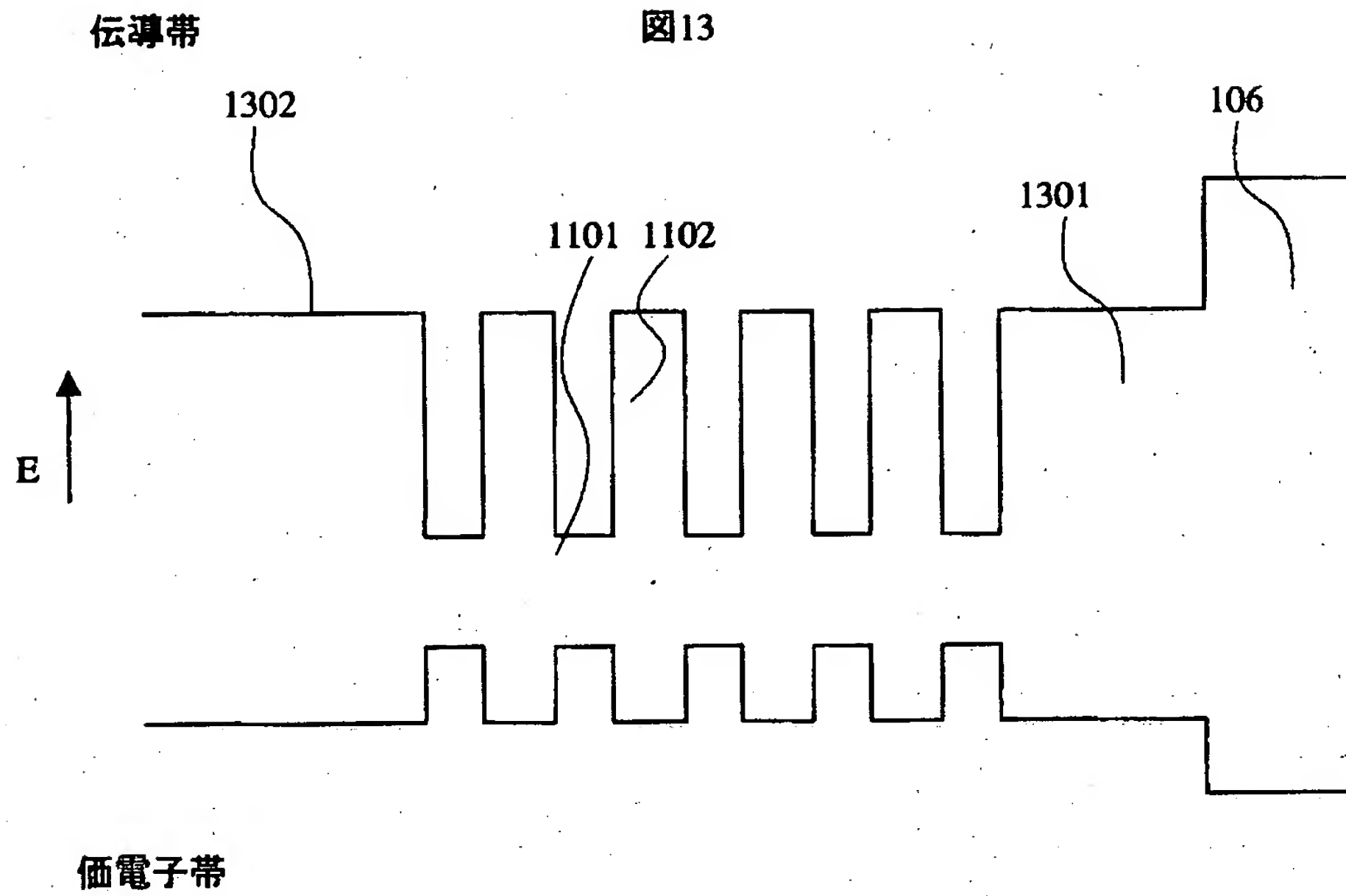
図 11



【図 1 2】

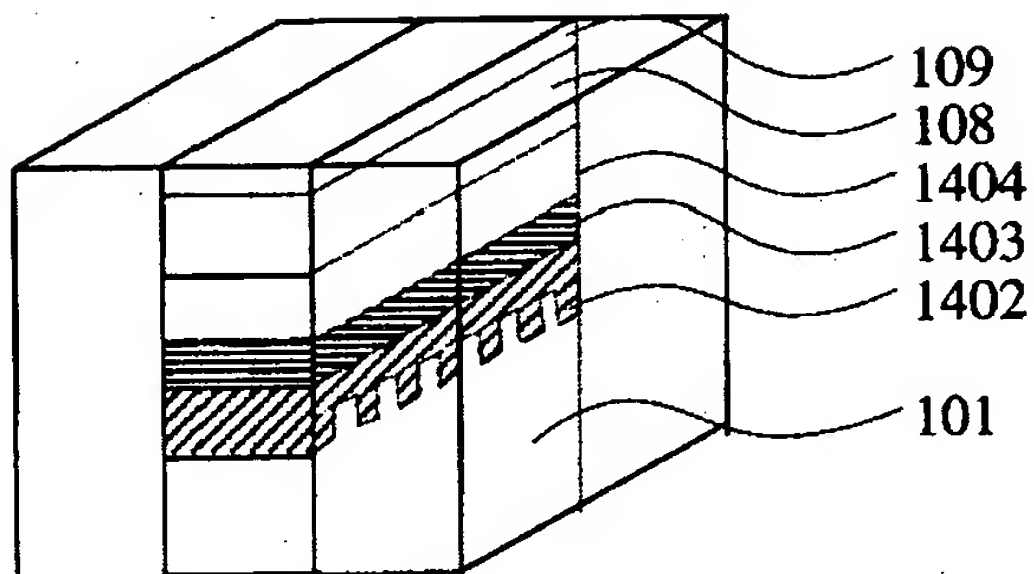


【図 1 3】

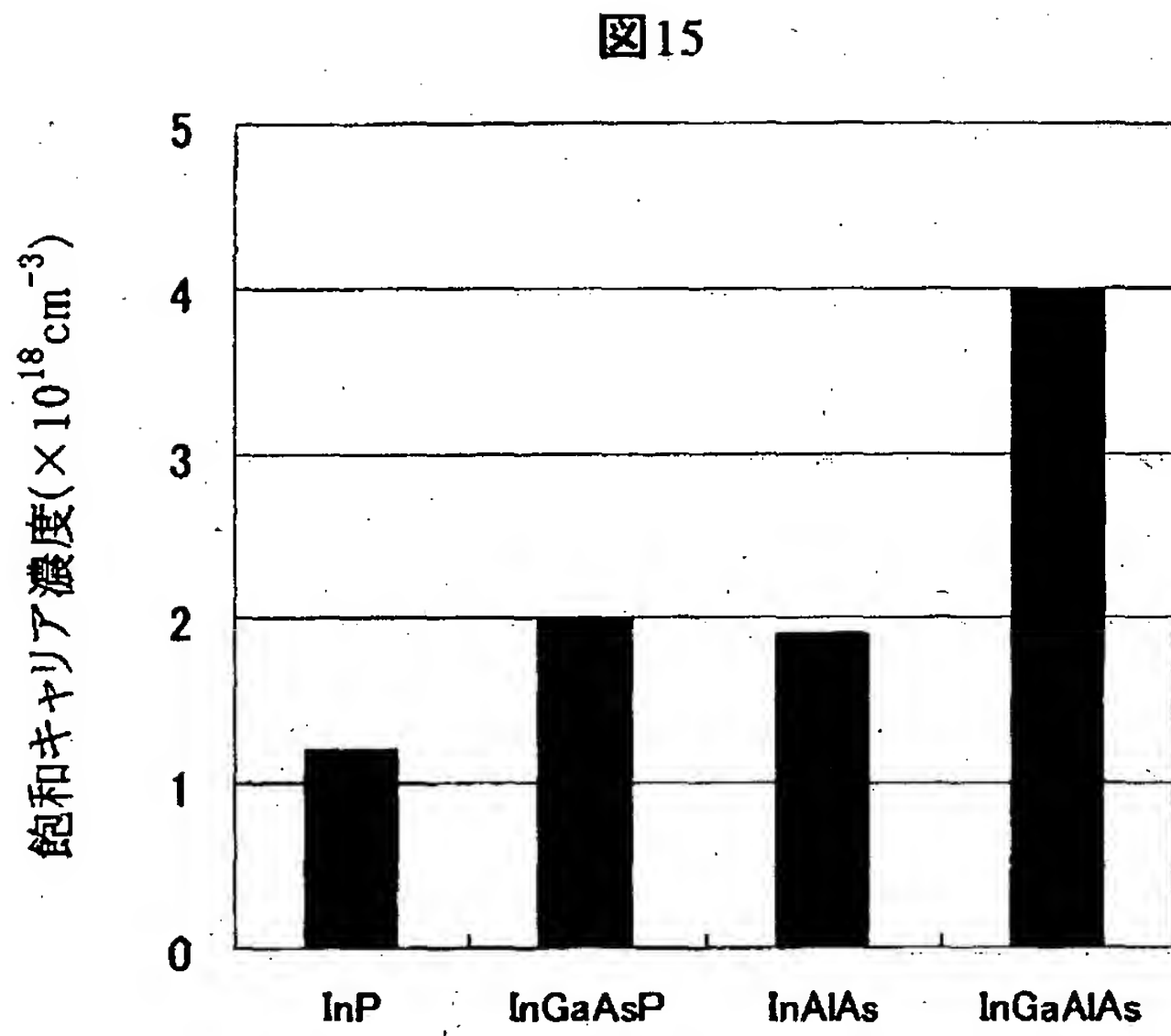


【図 1 4】

図14

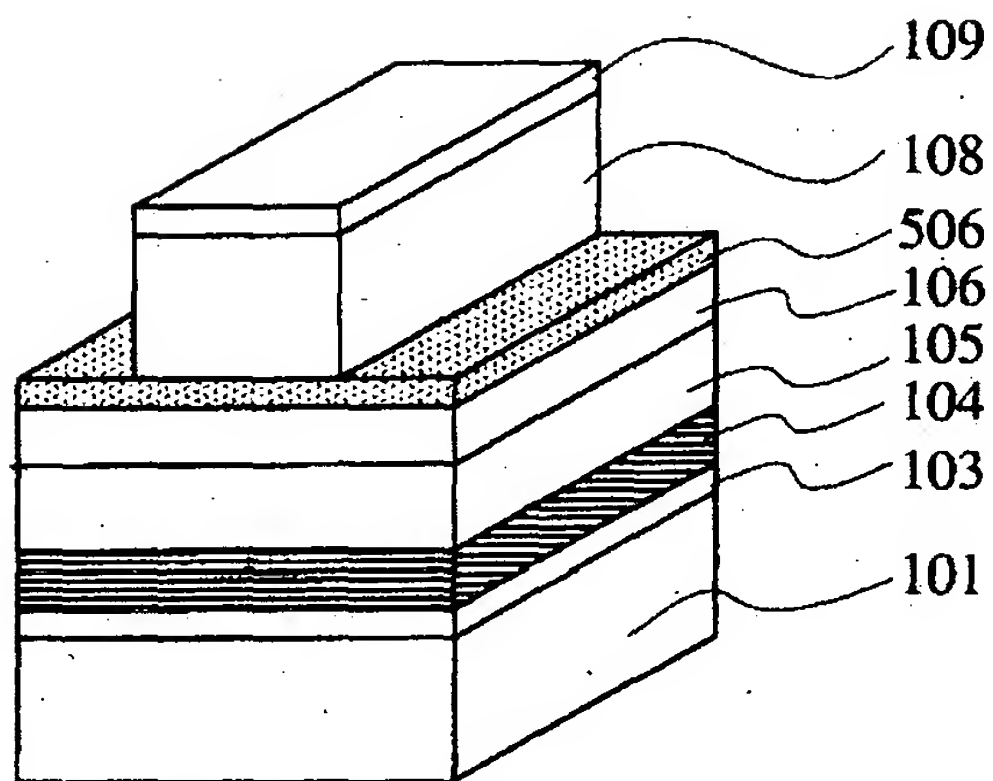


【図 1 5】



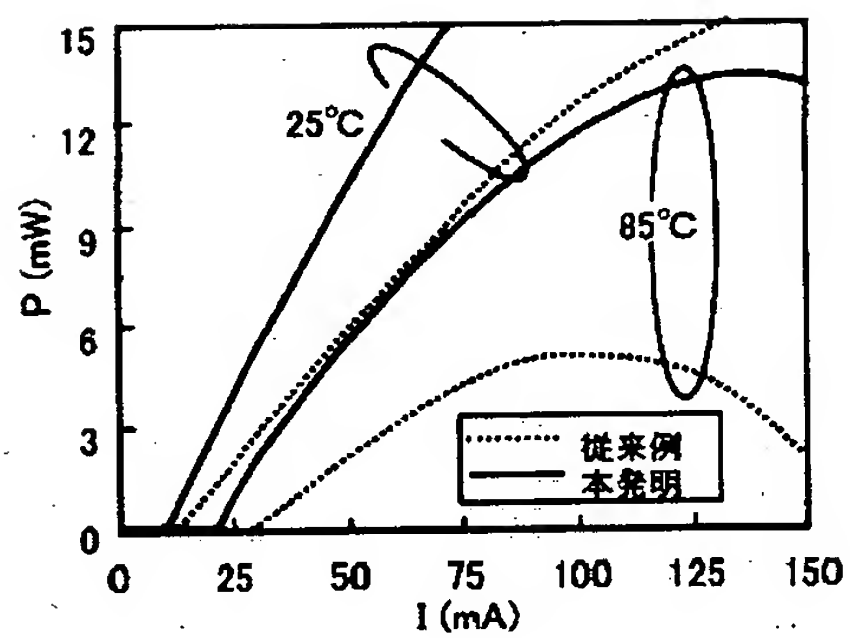
【図 1 6】

図16



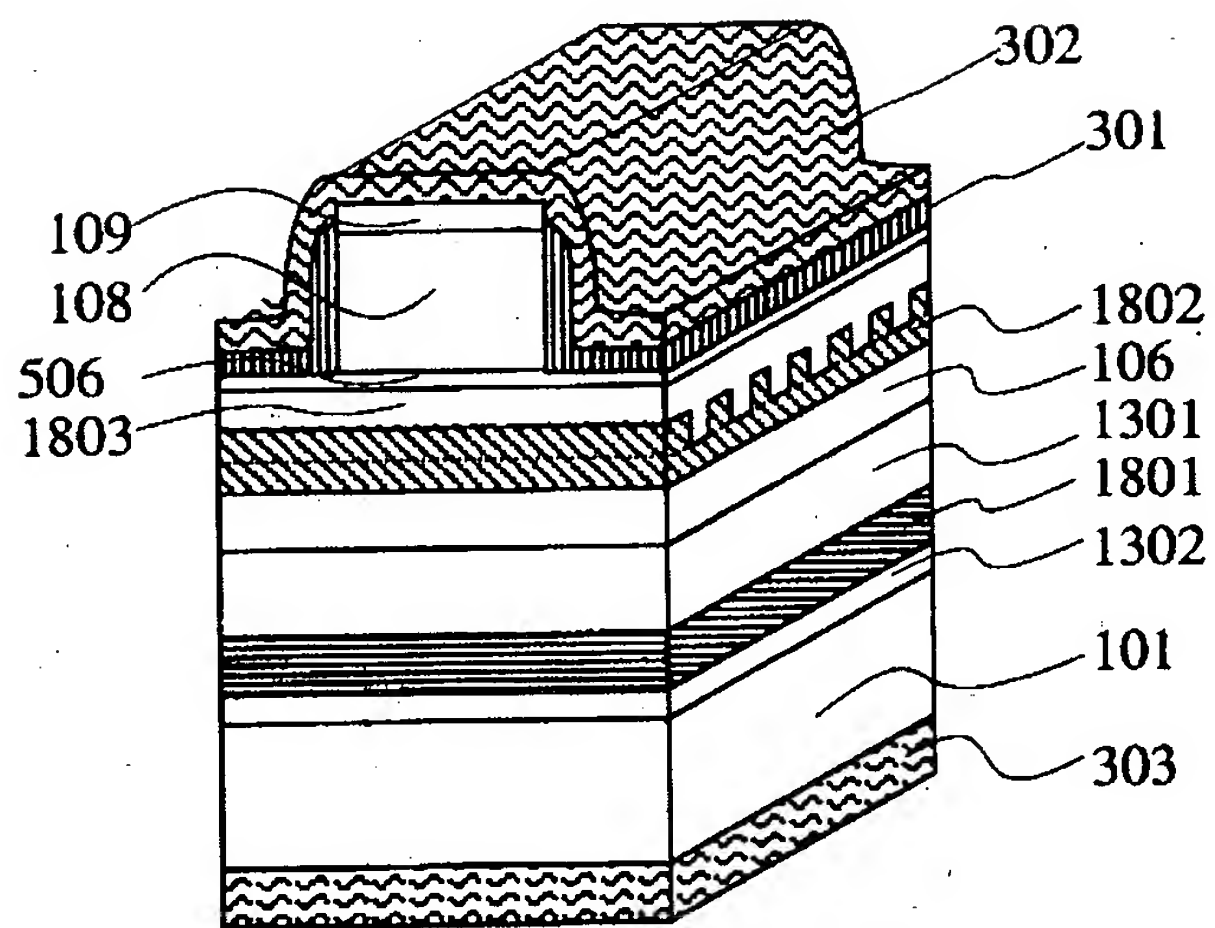
【図 17】

図17



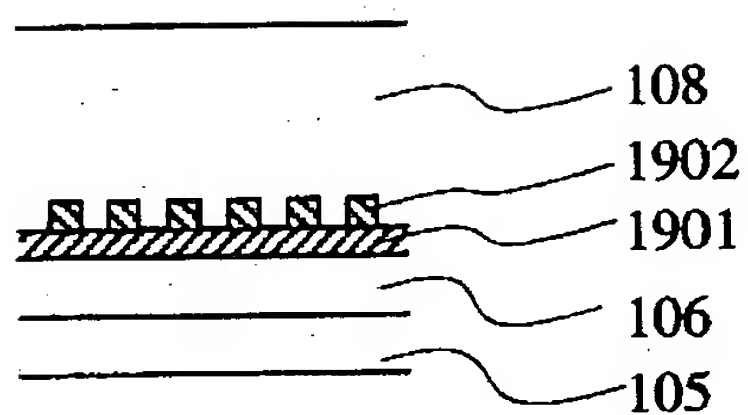
【図 18】

図18



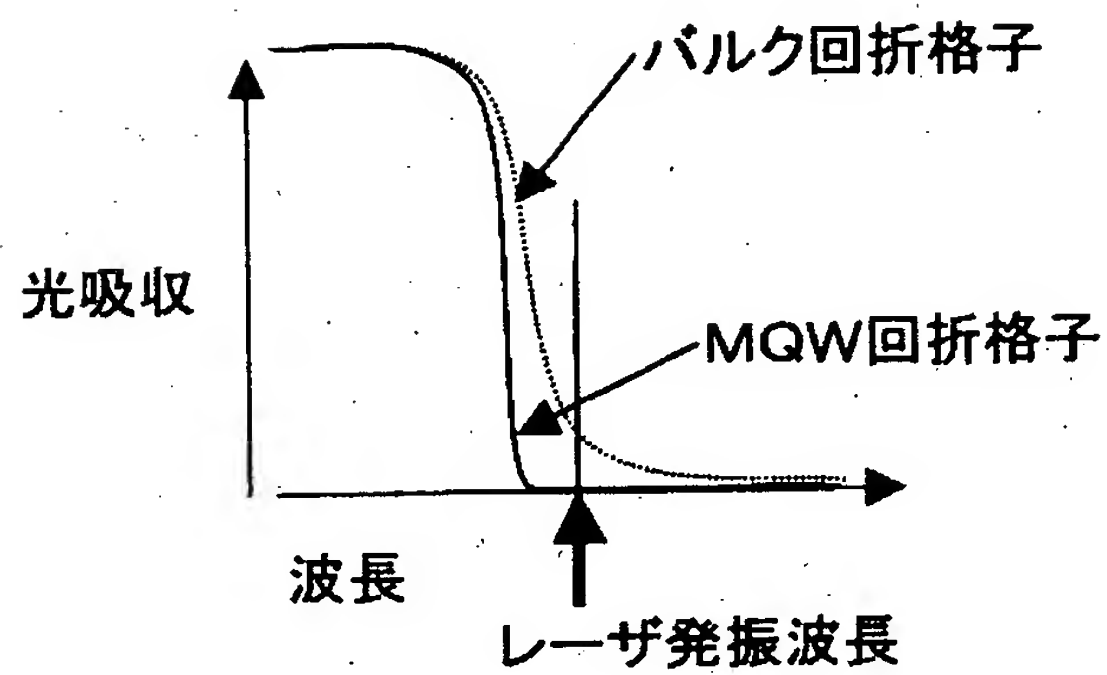
【図 1 9】

図19



【図 2 0】

図20



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 InGaAlAsを活性層とするDFBレーザにおいて素子抵抗が高いため特に高温におけるレーザ特性の劣化が課題である。

【解決手段】 n型InP基板101に形成されたInGaAlAs-MQW層104上に、p型InGaAlAs-GRIN-SCH層105、p型InAlAs電子ストップ層106、p型回折格子層107を順次積層し、回折格子形成後に、p型InPクラッド108、p型InGaAsコンタクト層を順次再成長し、リッジ型レーザを作製する。107の回折格子の凹凸の深さは107の厚さより小さくする。

【選択図】 図3

特 2 0 0 2 - 3 4 1 6 6 8

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 3 4 1 6 6 8
受付番号	5 0 2 0 1 7 7 9 9 8 5
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0 0 9 1
作成日	平成 1 4 年 1 1 月 2 7 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成 1 4 年 1 1 月 2 6 日

特 2002-341668

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所

特2002-341668

出願人履歴情報

識別番号 [301005371]

1. 変更年月日 2001年 3月16日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地

氏 名 日本オプネクト株式会社